

GIS 내부의 부분방전 전파특성 해석

박경수 · 김진 · 이희복 · 임영환 · 고영호  
전북대학교 전자정보공학부

Analysis of PD pulse propagation characteristic in GIS

Kyoung-Su Park · Jin Kim · Hee-Bock Lee · Young-hwan Lim · Young-Ho Ko  
Division of Electronic and Information, Chonbuk National University

**Abstract** - In this paper, propagation and damping characteristics of PD pulse in GIS are analyzed using SNM. These characteristics are very important to make a diagnosis and protection of accident in GIS. SNM is numerical method in time domain and very useful method to analyze 3-Dimensional structure such as GIS. GIS modeling is made simply as the form of coaxial cable and then spacers are inserted in it. The scattering and reflection in the GIS are appeared and damping characteristics of PD pulse are shown. When simulation using SNM compare to measurement, two results are similar.

1. 서 론

최근 고도정보화 사회로의 발전과 생활환경, 사회기능의 전력의존도가 증가함에 따라 전력의 공급신뢰도 및 질적 개선에 대한 요청이 한층 강화되고 있다. 이런 요청에 부응하여 전기설비는 설치공간의 축소화 및 기밀용기에 의한 밀폐화 등의 설비형태의 변화를 가졌고 따라서 가동중인 설비사고의 미연방지에 관한 예방보전기술에 관하여 새로운 대응책이 요구되고 있다.

GIS(Gas Insulated Switchgear)는 모선, 차단기, 단로기, 접지개폐기, 변류기 등을 SF<sub>6</sub> 가스로 채워진 밀폐된 좁은 공간에 설치한 것으로, 고신뢰도, 설치공간의 축소, 밀폐된 구조, 운전면에서 경제적인 장점을 가지고 있다. 그러나 구조적 특징으로 인해 사고를 사전에 외부에서 감시하기 어렵고 사고시 경제적으로 많은 피해를 줄 수 있으며 복구시간도 장시간이 소요된다.

GIS의 사고예방 및 보전을 위해 주로 탱크내부에서 발생하는 절연이상이나 통전 이상을 검출할 필요가 있고 이러한 이상을 검출하는 방법으로서는 사고시 발생하는 부분방전을 검출하는 방식이 유용하며 현재 이에 대한 연구성과가 보고되고 있다[1]. GIS의 내부고장 검출법에는 내부 이상시 발생하는 부분방전(Partial Discharge)을 이용한 부분방전검출법과 음향신호를 이용하는 초음파법등이 있다. 부분방전을 검출하는 방법중 전자파 검출법중 하나인 UHF법은 GIS의 내부 또는 외부에 UHF대역의 센서를 설치하여 펄스형태의 전자파를 검출하여 부분방전을 검출하는 방법으로 0.5~1GHz의 대역을 이용한다.

이러한 GIS의 예방진단시스템은 설계하는데 있어서 부분방전펄스의 전파특성의 분석은 실험적인 방법과 수치해석방법을 통하여 연구되고 있다[2]. 이중 수치해석 방법으로는 FDTD[3], TLM[4], SNM[5] 등이 있으며 본 논문에서는 시간영역에서 집중정수로 매질조건을 표

현하여 통일적 해석이 가능한 공간회로망법(SNM)을 사용하여 GIS 내부에서의 펄스의 전파특성을 분석하였다.

2. 공간회로망법을 이용한 GIS 전파특성해석

2.1 공간회로망법의 개요

공간회로망법(Spatial Network Method:SNM)은 시간 영역에서 전자계 해석을 위한 방법으로 전송선로 이론과 Bergeron법을 이용하여 맥스웰 방정식으로부터 유도되어진 수치해석기법으로 3차원 과도해석이 가능하다[6]. 정식화된 공간회로망법은 원리적으로 임의의 형상, 임의의 매질정수를 가지는 물체에 대하여 전자계 해석이 가능하다. 매질 조건은 각 절점에 있어서 집중정수로 표시되는데 예를 들면 유전분극 및 유전체 손실은 전기적 절점에 있어서 각각 용량 및 컨덕턴스로 표시된다. 한편 자기적 절점에 있어서는 상대적으로 직렬 인덕턴스 저항으로 표시된다. 이와같이 매질조건을 포함하는 계에 대해서도 3차원 등가회로를 구성할 수 있으며 각 절점에 접속되어 있는 1차원 선로에 대하여 Bergeron법에 의한 변환식을 적용하여 전류 연속의 관계에 의하여 각 절점마다 절점 방정식을 유도한다. 그리고 임의의 절점에 있어서 시간  $t$ 에서 전압, 전류는 인접하는 절점의 시간  $t-\Delta t$ 에서의 전압, 전류값을 이용하여 순차적으로 계산한다

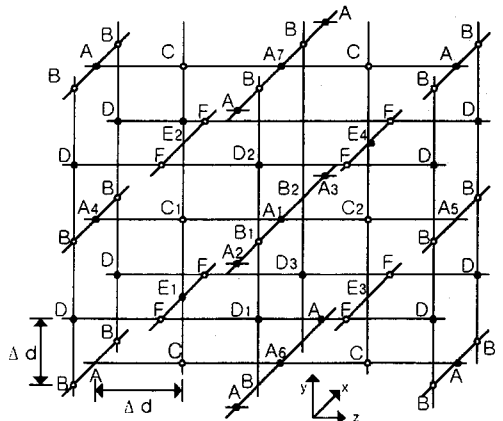


그림 1 3차원 입방격자망  
Fig. 1 Three dimensional cubic lattice

공간회로망법의 3차원 입방격자의 구조는 그림 1과 같은 구조를 이룬다. 전기적 절점은 전압과 전류의 관계를 표시하는 전송선로상의 절점과 등가적이고 자기적 절점은 자압과 자류의 관계를 표시하는 자기형 전송선로상의 절점과 등가가 된다. 즉, 자압이 전류에 대응하고 자류

가 전압에 대응된다.

## 2.2 경계조건

공간회로방법에서는 원통형 도체경계면의 경우 그림 2와 같이 계단형 근사를 하여 경계조건을 적용한다.

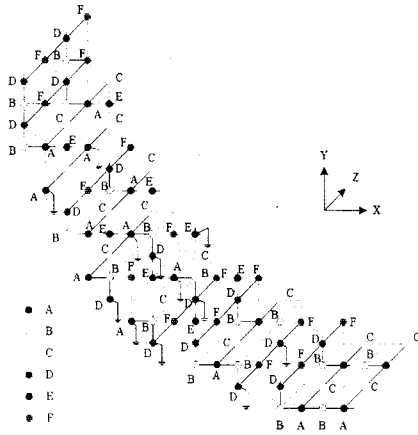


그림 2 원통형 도체 경계면상의 절점배치  
Fig. 2 Node arrangement of cylinder type conductor boundary

## 2.3 펄스입력

GIS내부에서 부분방전이 발생하면 펄스형태로 전파하게 되므로, (1)식과 같은 가우시안 펄스를 입력하여 시간에 대한 전파특성을 본다.

$$V(t) = V_0 e^{-0.5(t/\tau_r)^2} \quad (1)$$

구동되는 GIS의 내부는 정전계의 상태이므로 상승시간 (rise time)이 0.5ns인 step like wave를 입력하여 정상상태의 GIS내부의 전계분포를 본다.

## 2.4 스페이서의 취급

GIS의 내부도체를 지지하는 스페이서는  $\epsilon_r=6$ 인 유전체로 가정하였다. 본 논문에서는 가장 대표적인 스페이서 형태인 콘형 스페이서를 그림 3과 같은 절점구조로 배치하여 구성한다.

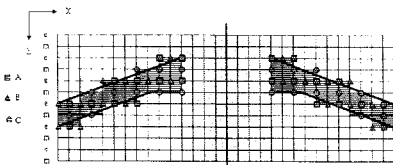


그림 3 콘형 스페이서의 절점배치 (ABC절점)  
Fig. 3 node arrangement of cone type spacer (ABC node)

## 2.5 해석 모델

본 논문에서는 참고문헌[2]의 실험모델을 참고로 하여 해석하였다. 실험모델은 외부도체의 내경이 434mm,

외경이 120mm로 하였고 그림 4와 같이 3m의 간격으로 스페이서를 배치하였다. 스페이서로부터 각각 1.1m 떨어진 입력단(A-A')과 출력단(B-B')의 한점의 값을 정규화하여 실측치와 비교한다.

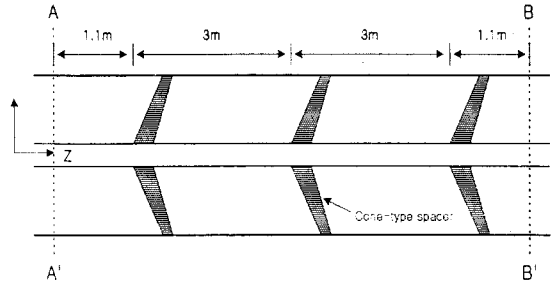


그림 4 3개의 콘형 스페이서가 있는 GIS모델  
Fig. 4 GIS model with three cone type spacers

## 2.6 가우시안 펄스 입력

가우시안 펄스를 입력하여 얻은 감쇠특성을 분석함으로써 GIS 내부를 전파하는 부분방전 펄스의 감쇠특성을 알 수 있다.

공간회로방법을 이용해 구한 해를 참고문헌[2]에 있는 실측한 데이터와 비교하면 그림 5, 6과 같다. 그림 5(a)와 같은 가우시안 펄스를 입력하기 위해 그림 5(b)와 같이 펄스폭이 2ns인 가우시안 펄스를 입력단(A-A')에 입사시킨다.

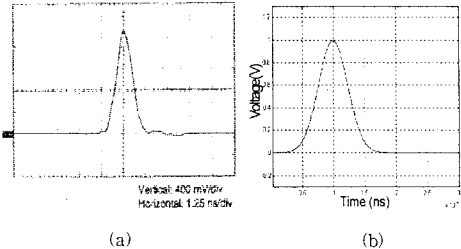


그림 5 가우시안 펄스 입력측 파형 (A-A')  
(a) 실측(참고문헌[2]) (b) 시뮬레이션  
Fig. 5 Gaussian pulse input waveform (A-A')  
(a) Measurement (b) Simulation

그림 5와 같이 입사시킨 가우시안 펄스는 그림 6과 같이 GIS내부의 스페이서에 의해 감쇠하며 진행한다.

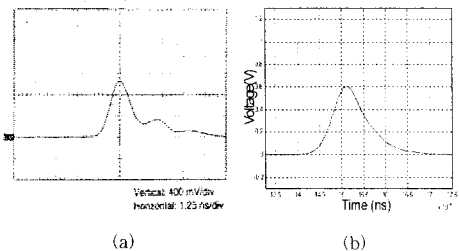


그림 6 가우시안 펄스 출력측 파형 (B-B')  
(a) 실측(참고문헌[2]) (b) 시뮬레이션  
Fig. 6 Gaussian pulse output waveform  
(a) Measurement (b) Simulation

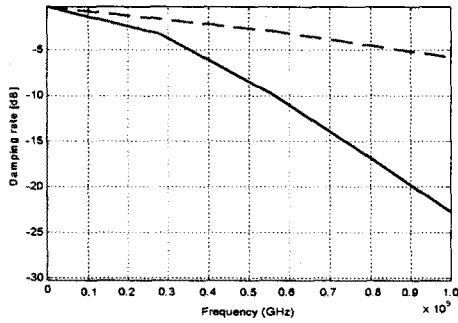


그림 7 주파수의 감쇠특성  
 ( ... 1개 스페이서, — 3개 스페이서)  
 Fig. 7 Frequency characteristics of damping rates  
 ( ... one spacer, — three spacers)

그림 7은 주파수에 따른 감쇠특성을 보이고 있다. 주파수가 높아질수록 더욱 더 급속하게 감쇠하는 것을 볼 수 있다. 점선은 스페이서가 하나있을때의 감쇠특성이며 실선은 스페이서 세 개 있을때의 감쇠특성으로 스페이서의 수가 많아짐에 따라 고주파대역에서 훨씬 더 큰 감쇠가 일어남을 알 수 있다.

### 2.7 step like wave 입사

정상상태의 GIS는 내부에 정전계가 형성된다. 이와같은 정전계의 상태를 시뮬레이션하기 위해 그림 8과 같은 Step like wave를 입사하였다. 입력측과 출력측에서 나온 데이터를 실측치와 비교하기 위해 참고문헌[2]과 비교하면 그림 8, 9와 같다. 그림 8(a)의 그림에서 점선안에 있는 파형은 입력측에 스페이서의 반사에 의한 왜곡이 일어나는 것이 나타나고 있으며 시뮬레이션 결과도 이와 일치하고 있다.

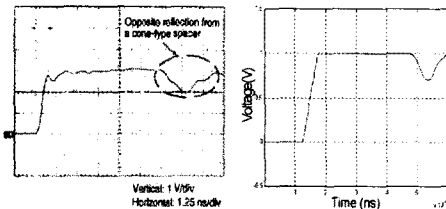


그림 8 Step like pulse 입력측 파형 (A-A')  
 (a) 실측치(참고문헌[2]) (b) 시뮬레이션  
 Fig. 8 Step like wave input waveform  
 (a) Measurement (b) Simulation

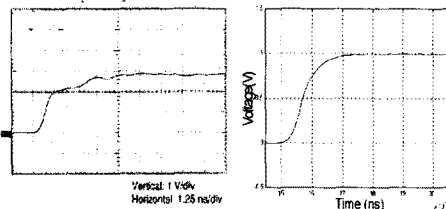


그림 9 Step like wave 출력측 파형(B-B')  
 (a) 실측(참고문헌[2]) (b) 시뮬레이션  
 Fig. 9 Gaussian pulse output waveform  
 (a) Measurement (b) Simulation

그림 9는 출력측 파형으로서 크기의 변화는 거의 없지만, 상승시간 (rise time)이 0.5ns에서 1.5ns정도로 증가했으며, 실측치와 일치하는 결과를 얻었다. 시뮬레이션 결과 입력단에서 스페이서에 의한 반사와 왜곡이 일어나며, 출력단에서는 상승시간의 지연이 일어남을 알 수 있었다.

### 3. 결론

GIS 내부를 진행하는 TEM 모드의 부분방전 펄스의 전달특성과 감쇠특성을 공간회로방법을 이용해 분석하여 실측치와 거의 일치하는 형태의 해를 얻었다. 분석결과 입력단에서는 스페이서에 의해 반사된 왜곡현상을 뚜렷히 볼 수 있었고, 출력단에서는 스페이서를 통과하면서 반사되거나 산란된 부분을 제외한 투과된 펄스가 크기가 감소하고 시간이 지연된 형태로 나타났다. 스페이서를 통과하면서 일어나는 펄스의 감쇠특성을 보았을 때 주파수가 높은 부분에서 큰 감쇠가 일어남을 볼 수 있었다. 이 감쇠하는 정도는 스페이서의 수가 늘어날수록 더욱 더 커진다.

### (참 고 문 헌)

- [1] M.D.Judd, O.Farish, B.F.Hampton, "The Excitation of UHF Signals by Partial Discharges in GIS", IEEE Trans. Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 3, No. 2, April 1996.
- [2] K. Mizuno, A.Ogawa, K.Nojima, "Investigation of PD Pulse propagation characteristics in GIS," IEEE Trans. Power Systems, Vol. 12, No2, pp. 1022-1030, May 1997.
- [3] N. Yoshida and I. Fukai "Transient Analysis of a Stripline Having a Corner in Three-Dimensional Space," IEEE Trans. MTT., Vol. MTT-32, No. 5, pp.491-498, May 1984.
- [4] Kane S. Yee, "Numerical Solution of Initial boundary Value Problems Involving Maxwell's Equations in Isotropic Media," IEEE Trans. AP., pp.302-307, May 1966.
- [5] Wolfgang J.R., Hoefer, "The Transmission-line Matrix Method - Theory and Application," IEEE Trans. MTT., vol. MTT-33, No. 10, Oct 1985
- [6] Y. H. Ko, N. Yosida, I. Fukai, "Three-Dimensional Analysis of a Cylindrical Waveguide Converter for Circular Polarization by the Spatial Network Method," IEEE trans MTT., Vol. 38, No. 7, pp.912-918, JULY 1990.
- [7] Hiroshi Imagawa, Kunio Emoto, "Simplified Simulation Method for Partial Discharge Phenomena in GIS," IEEE proceedings of the 1999 IEEE Transmission and Distribution Conference-volume 2, 534-540, 1999.